西湖大學
WESTLAKE UNIVERSITY

第三届中国温室气体监测研讨会

利用卫星监测水稻生长阶段的甲烷排放

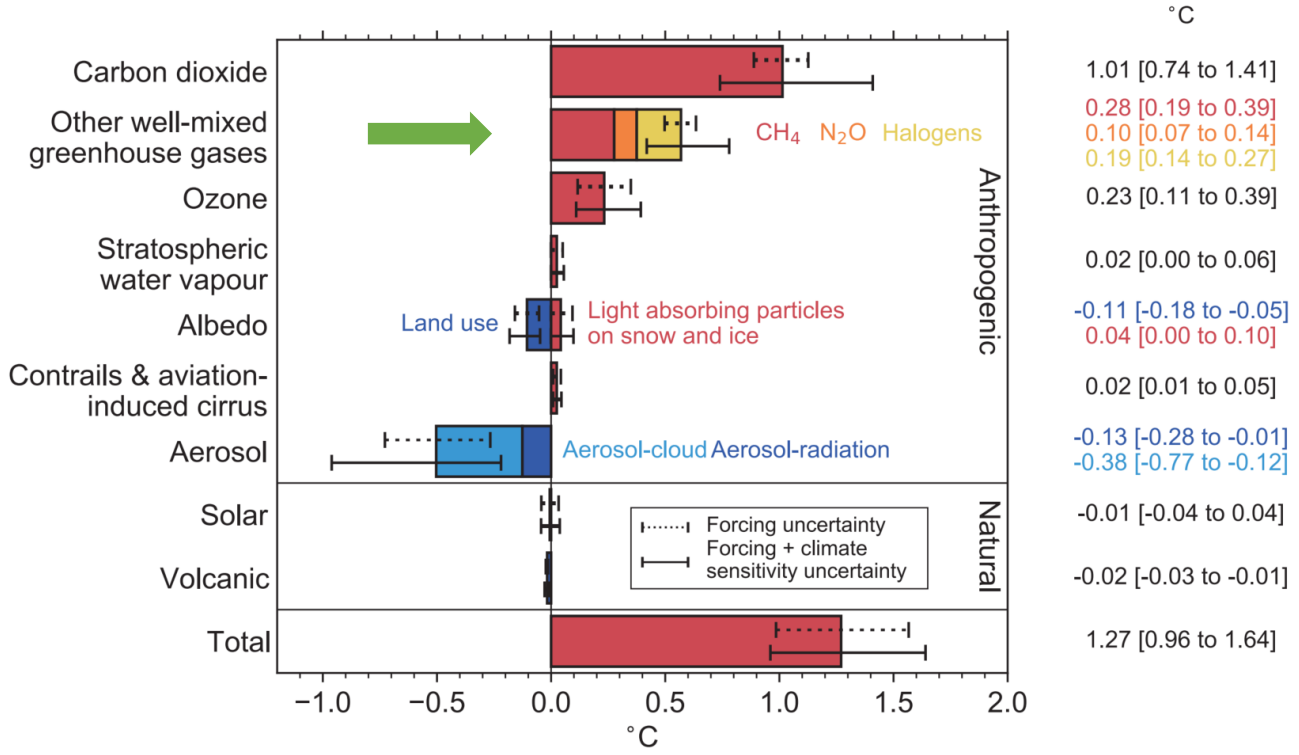
Space-based monitoring of methane emissions from rice paddies throughout rice growth stages

梁若思 (liangruosi@westlake.edu.cn), 张羽中
西湖大学

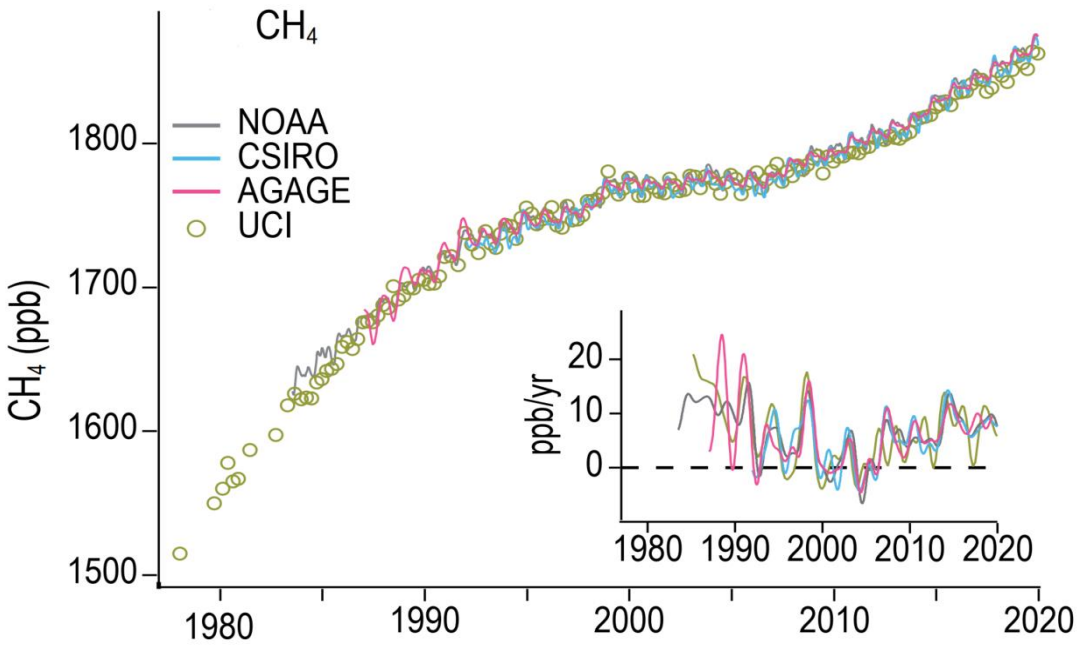
2023.11.19　上海

甲烷是一种强有力的温室气体

1750 年至2019年全球气温变化的归因



甲烷浓度的历史变化趋势

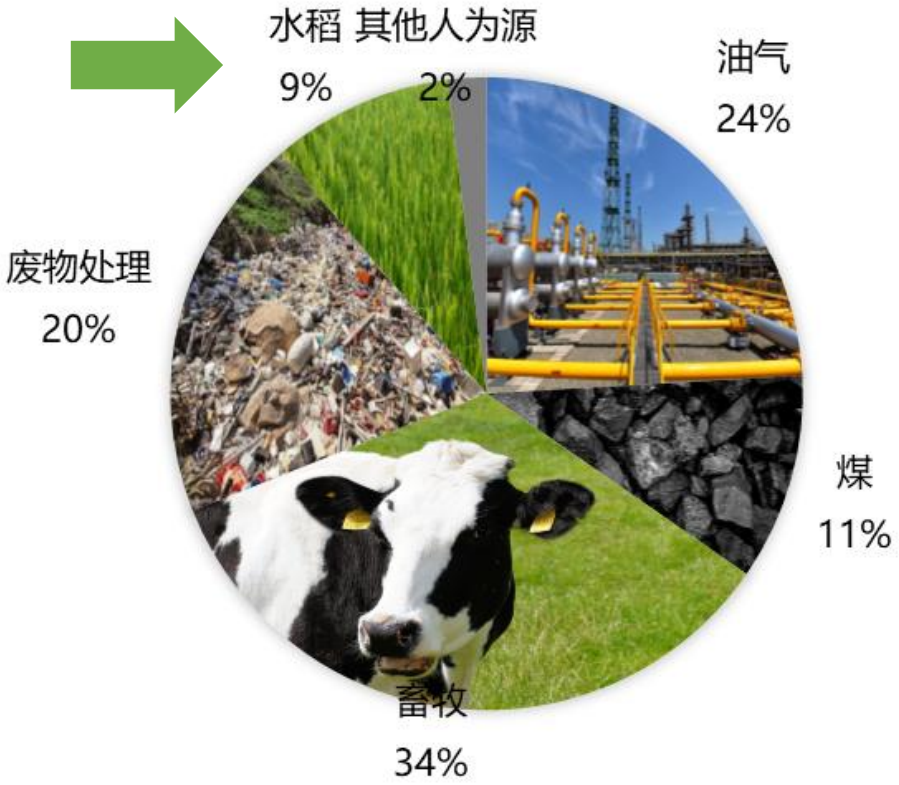


(IPCC, 2021)

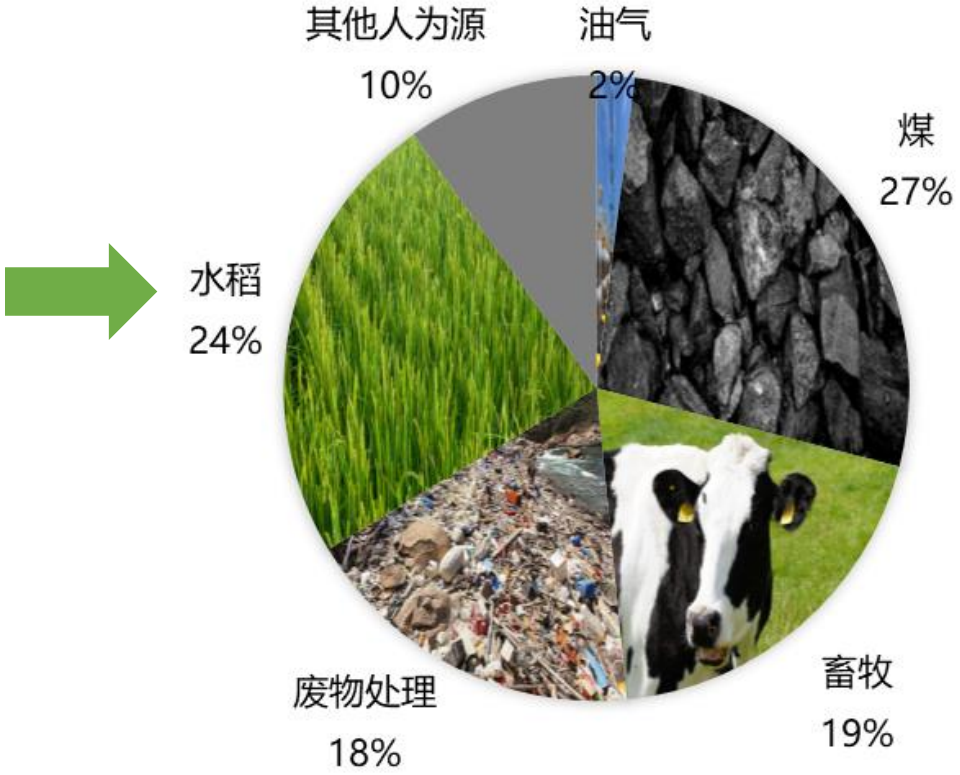
- 甲烷是仅次于CO_2的第二大温室气体。在20年时间尺度上，甲烷的全球升温潜势相当于CO_2的80倍。
- 2023年7月，甲烷平均浓度为1915.25 ppb，是1750年工业化前水平的 265%。

甲烷排放来源

全球



中国

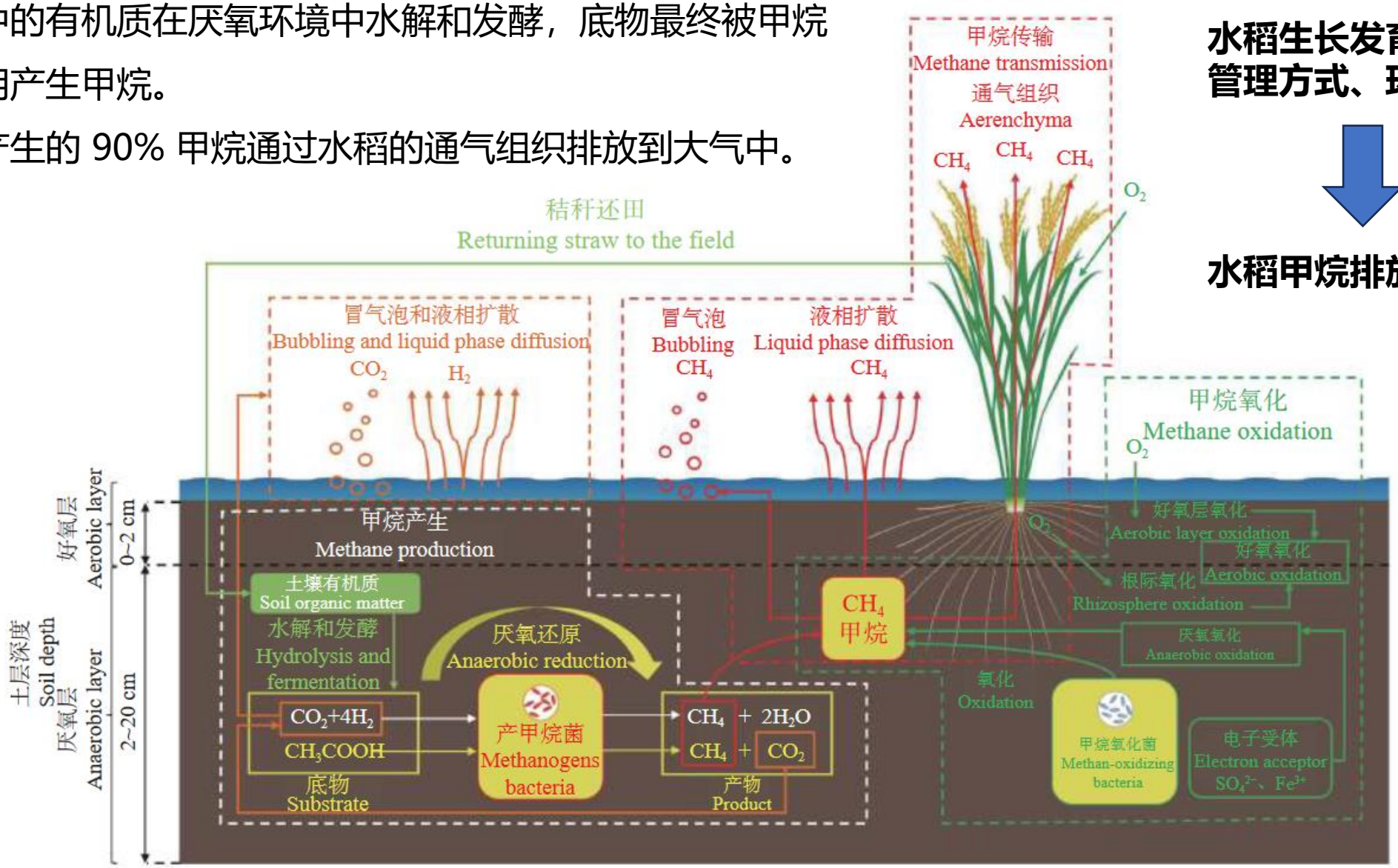


(数据来自“自下而上”清单)

- 水稻甲烷排放占全球甲烷排放人为源的9%，占全中国甲烷人为源排放的24%。

水稻甲烷产生和排放的过程

- 土壤中的有机质在厌氧环境中水解和发酵，底物最终被甲烷菌利用产生甲烷。
- 稻田产生的 90% 甲烷通过水稻的通气组织排放到大气中。



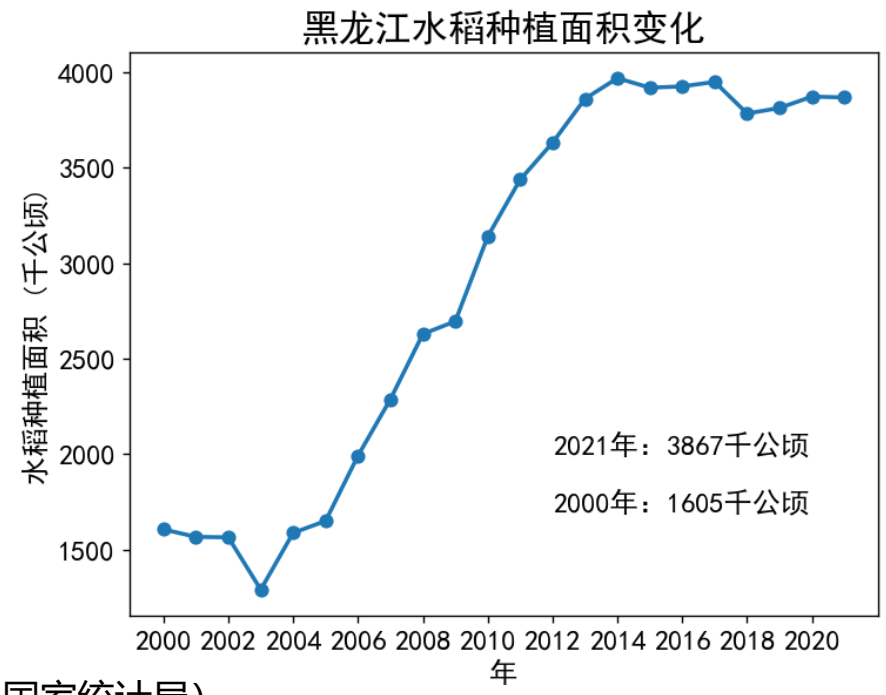
水稻生长发育、水稻种植管理方式、环境因素

↓

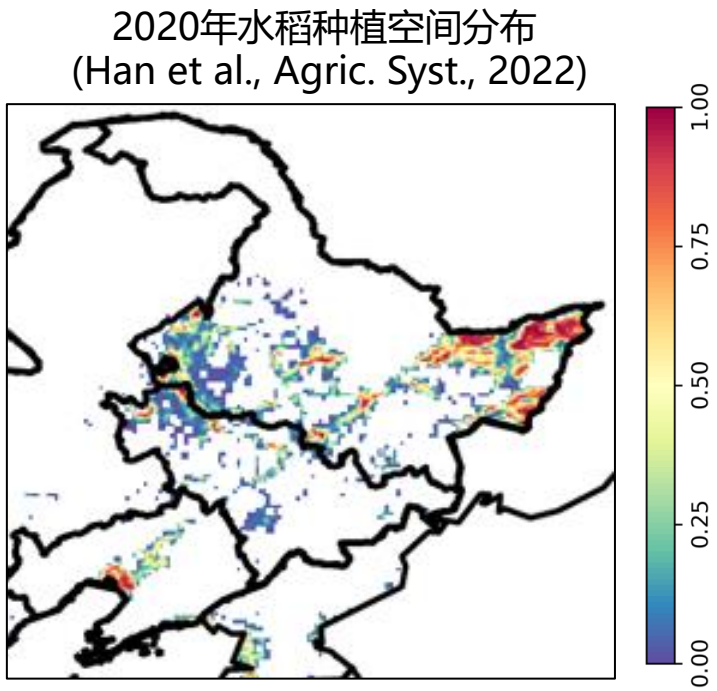
水稻甲烷排放速率

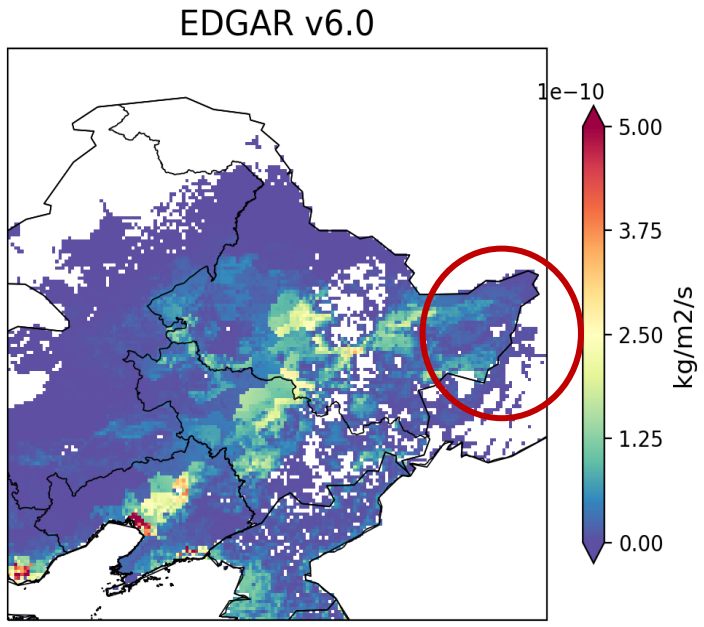
(Tang et al., CJEA, 2022)

黑龙江的水稻种植与甲烷排放



（国家统计局）





- 黑龙江水稻种植面积快速增加； 2021年，黑龙江水稻种植面积占全国13%，全国第二。
- EDGAR v6.0 和水稻种植空间分布之间存在差异（主要在三江平原） 。
- EDGAR 清单的黑龙江水稻甲烷排放仅占全国水稻甲烷排放的3%。

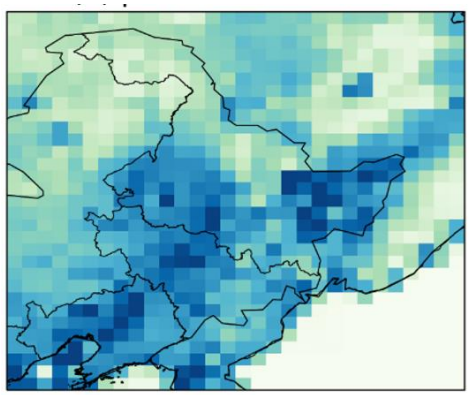
报告内容

- 基于卫星甲烷浓度观测，利用反演方法实现对黑龙江省水稻甲烷排放的优化：

  1. 水稻甲烷排放量的估算
  2. 水稻甲烷排放的季节性变化分析

甲烷排放反演方法

后验排放 $\hat{x}$
（“自上而下”的估计）



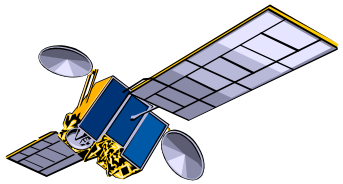
反演模型

$$J(x) = (x - x_A)^{\mathrm{T}} \mathbf{S}_{\mathbf{A}}^{-1} (x - x_A) + (y - \mathbf{K}x)^{\mathrm{T}} \mathbf{S}_{\mathbf{O}}^{-1} (y - \mathbf{K}x)$$

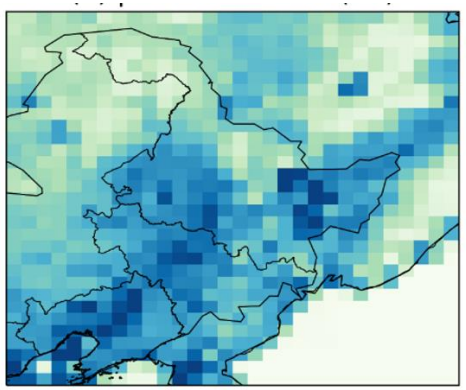
优化“自下而上”的排放清单

$$\hat{x} = x_A + \left(\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{S}_{\mathbf{O}}^{-1} \mathbf{K} + \mathbf{S}_{\mathbf{A}}^{-1}\right) \mathbf{K}^{\mathrm{T}} S_O^{-1} \left(y - \mathbf{K} x_A\right)$$

甲烷浓度观测数据 y
和观测误差S_O



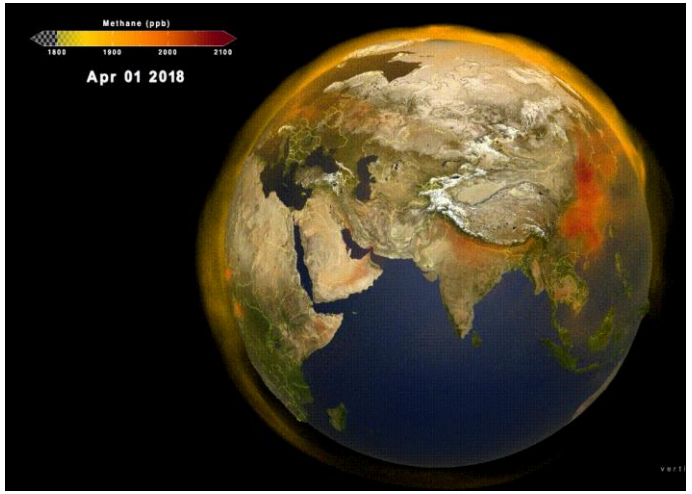
比较



先验排放 x_A和先验误差S_A
（“自下而上”的估计）

3-D大气化学传输模式

$$y = F(x) = Kx + c$$

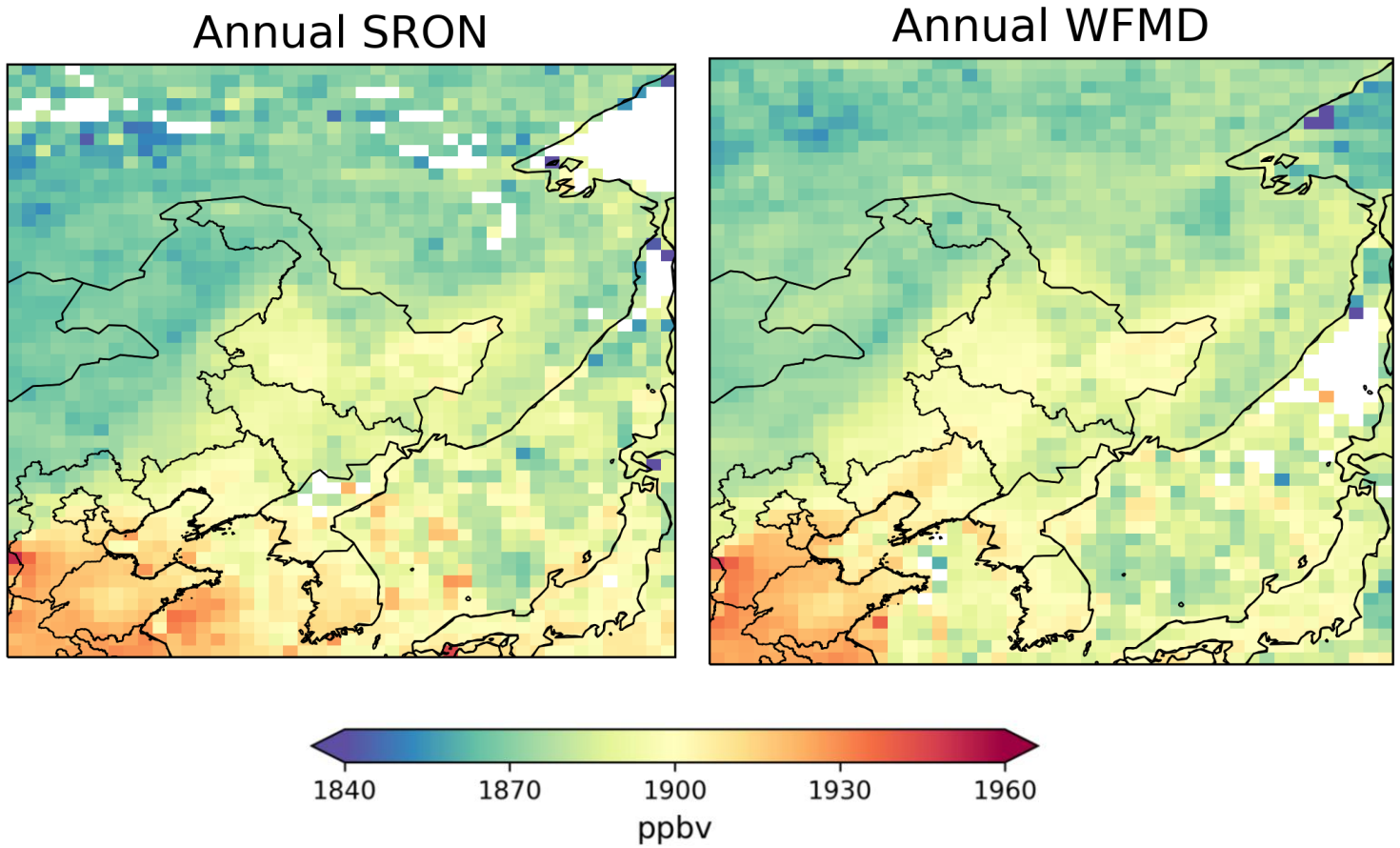


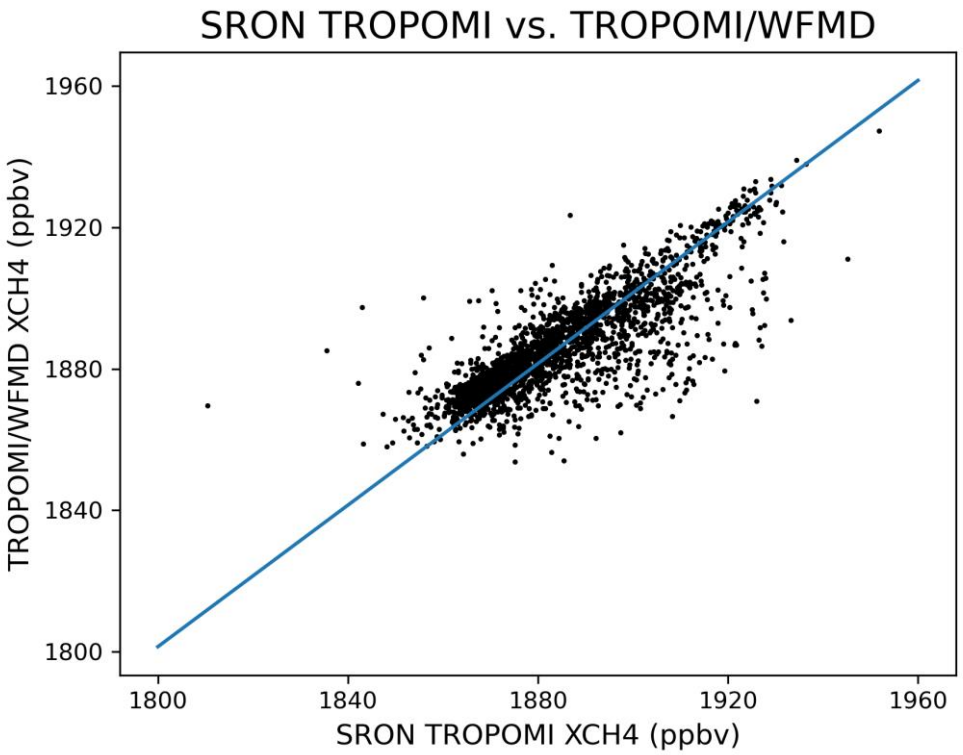
甲烷浓度模拟

TROPOMI卫星观测

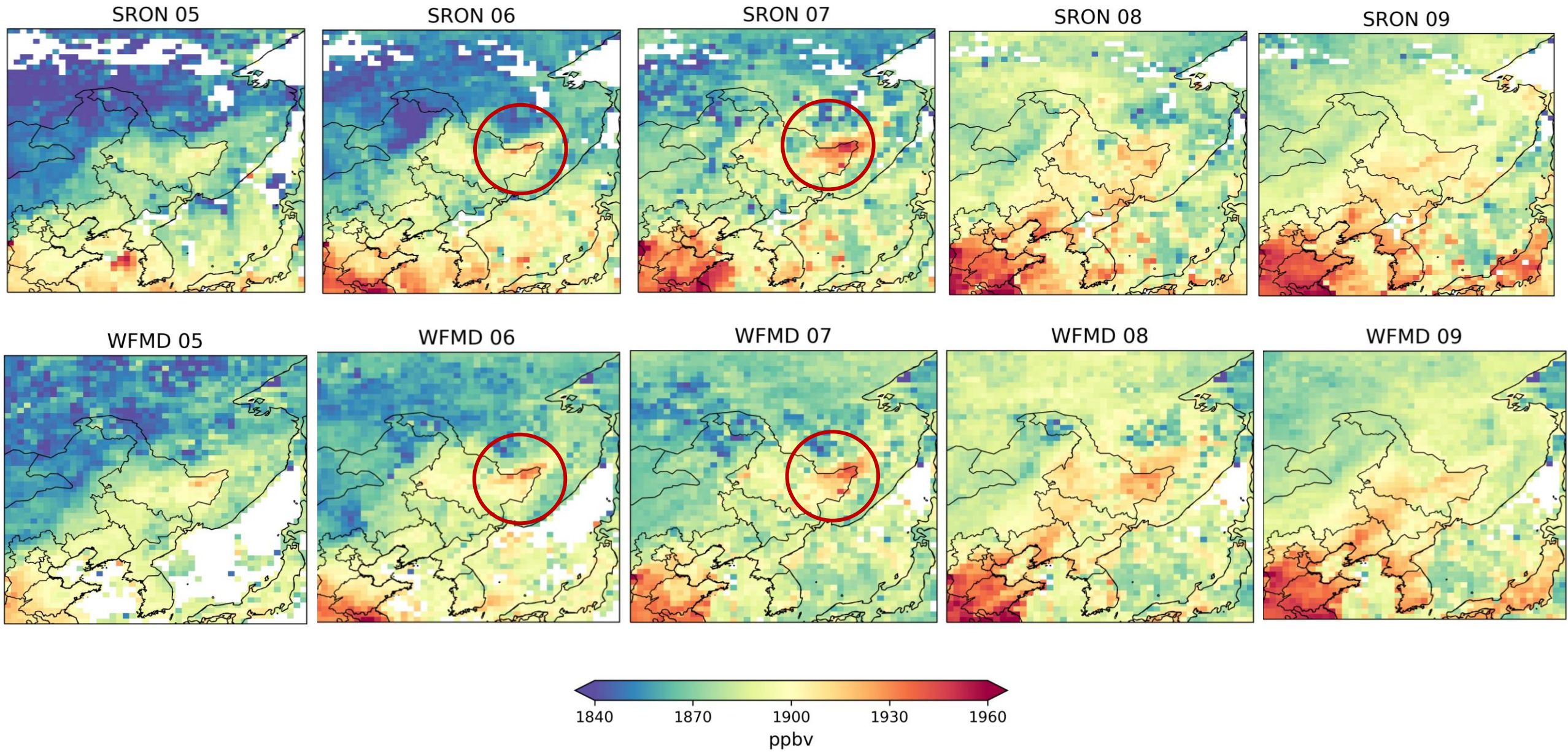
两种 TROPOMI 卫星甲烷浓度观测产品：

- SRON TROPOMI: Full-physics retrieval algorithm，SRON Netherlands Institute for Space Research)
- TROPOMI/WFMD: Weighting Function Modified DOAS (WFMD) algorithm，University of Bremen





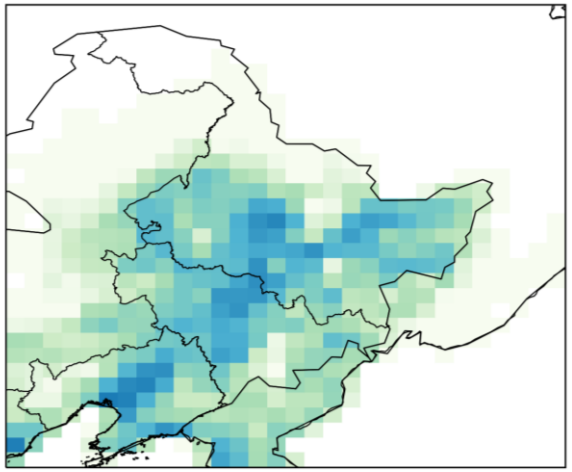
TROPOMI卫星观测



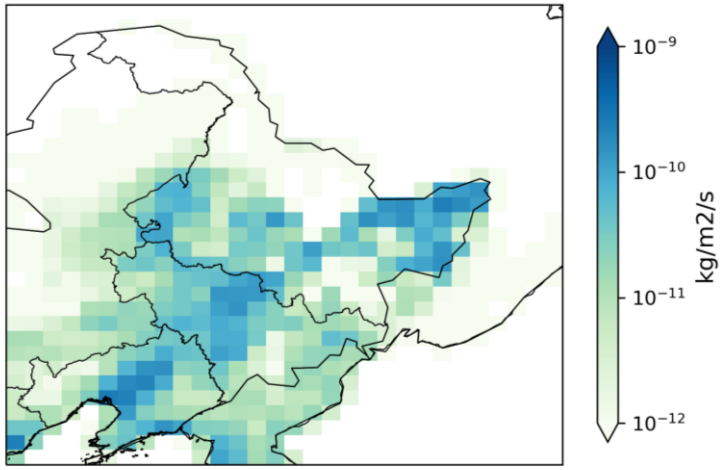
大气化学传输模式与反演设置

- 大气化学传输模式: GEOS-Chem v12.9.3,
- 空间水平分辨率：0.5° × 0.625°，垂直分辨率为47层
- 反演时间和频率：2021年，按月反演
- 研究区域：中国东北 (39°N - 54°N, 119°E - 137°E)
- 主要人为源清单：
  - 油气，畜牧，废物处理，水稻: EDGAR v6.0
  - 煤：EDGAR v6.0, GFEI v2
- 反演集合包含8个反演：
  - 使用不同的煤/水稻的先验清单，
  - 两种TROPOMI产品
  - 不同的先验清单不确定性假设。

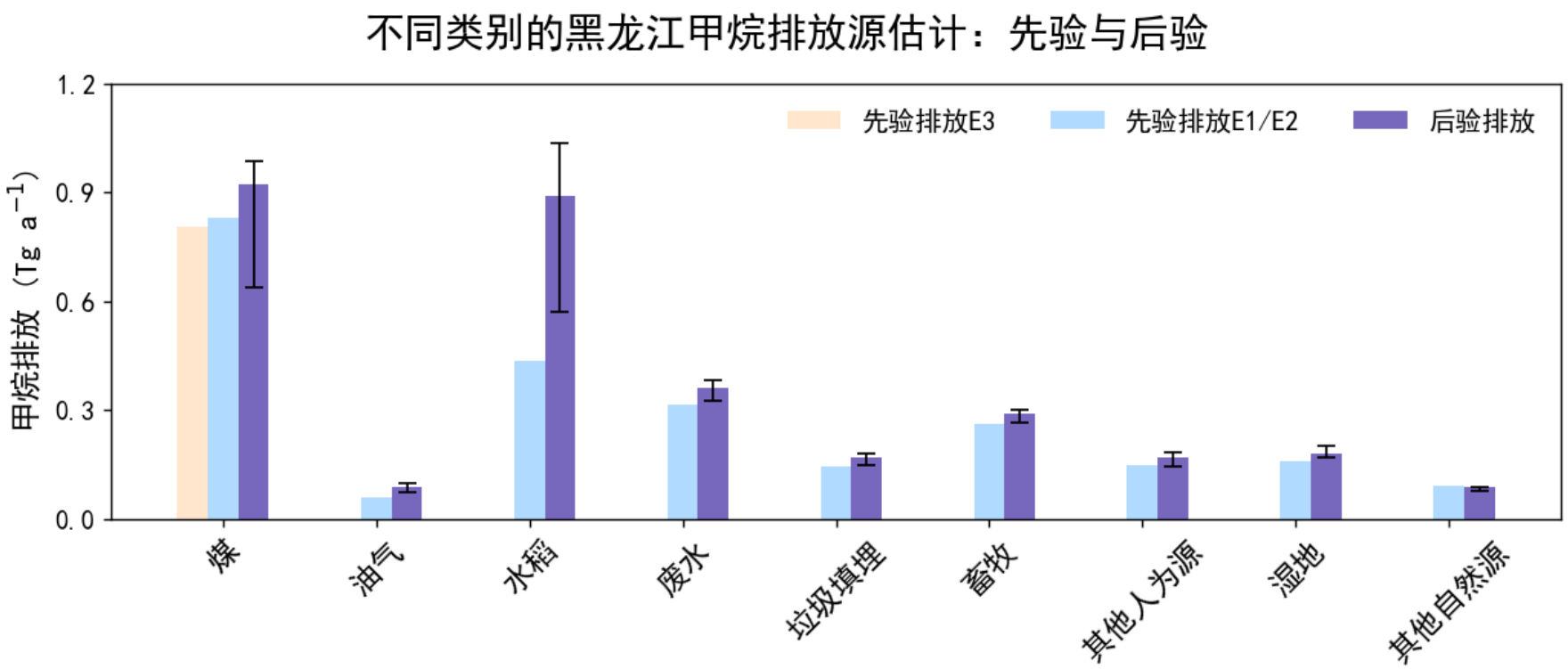
EDGAR v6.0 水稻



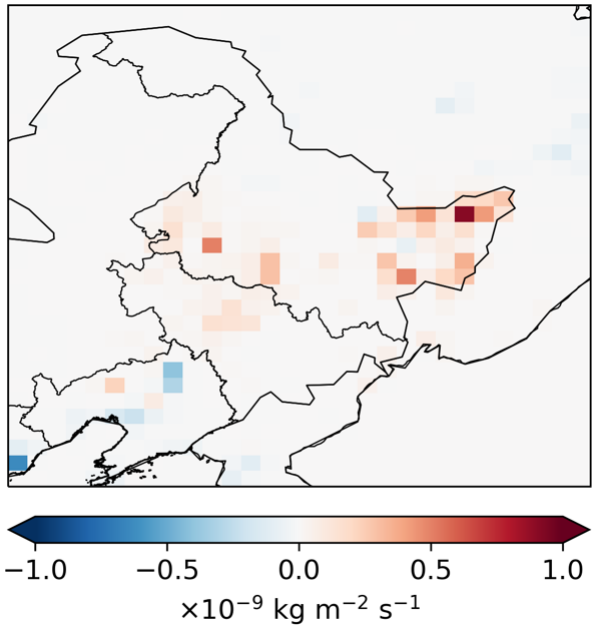
调整空间分布的EDGAR v6.0 水稻



黑龙江甲烷排放量估计



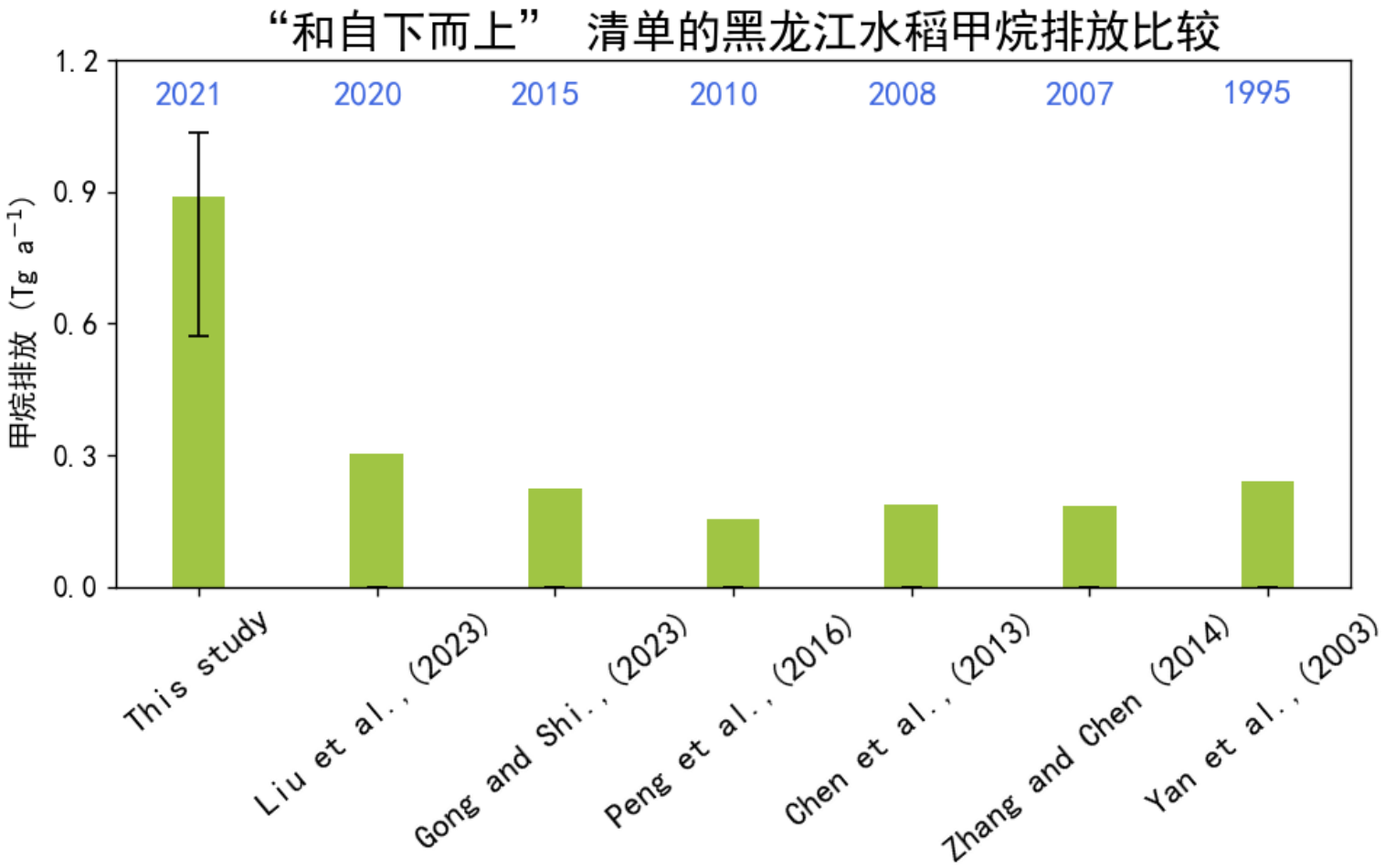
后验排放 - 先验排放



- 黑龙江甲烷总排放有较大调整： 2.4 Tg a^{-1} → 3.16 (2.88 – 3.35) Tg a^{-1};
- 水稻是增幅最大的排放源，年均甲烷排放：0.43 Tg a^{-1} → 0.89 (0.57 – 1.04) Tg a^{-1}
- 黑龙江甲烷排放增加的区域主要在三江平原。

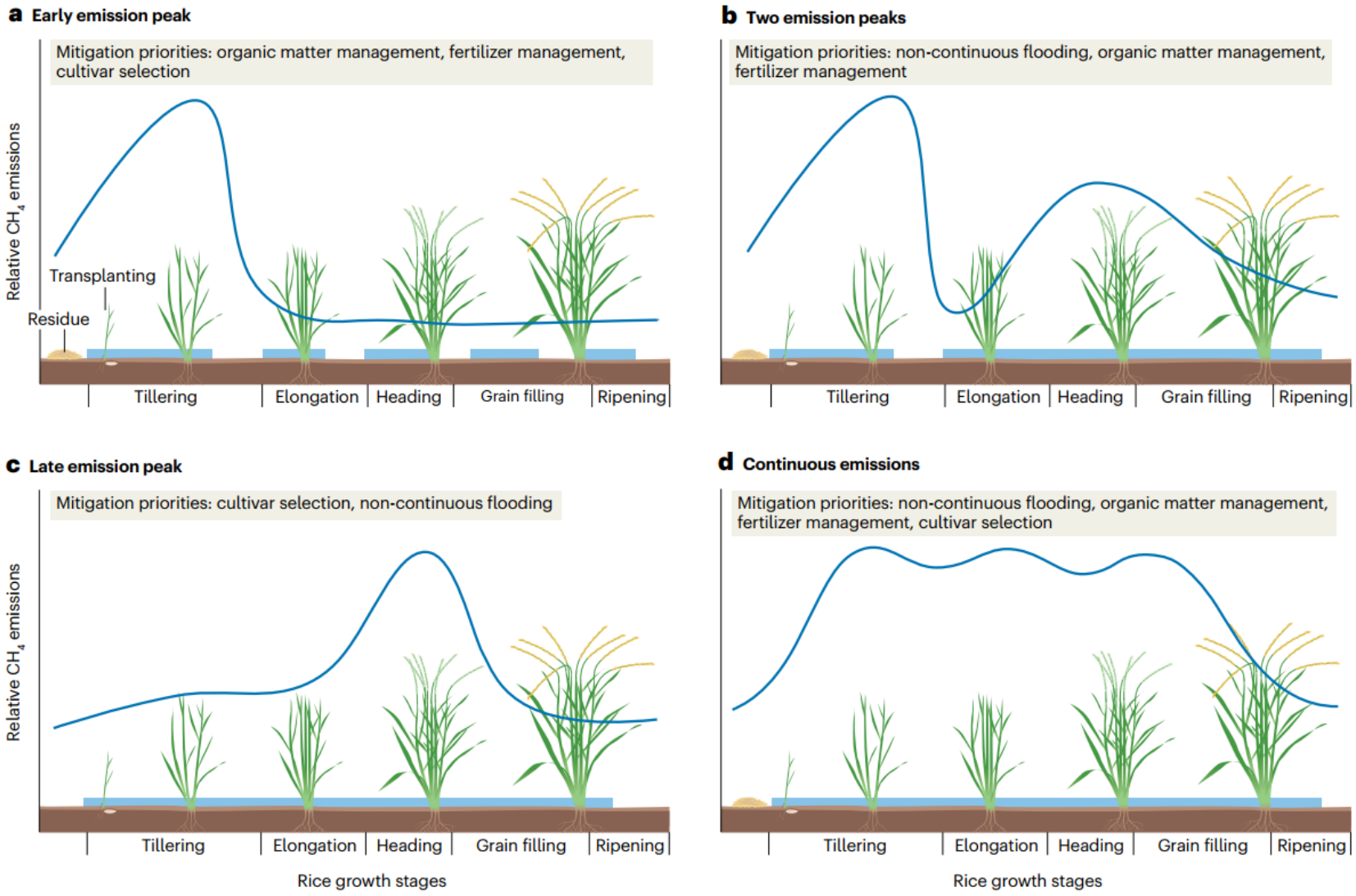
与“自下而上”清单的水稻甲烷排放量比较

- “自下而上”清单: 甲烷排放量 = 排放因子 × 种植面积



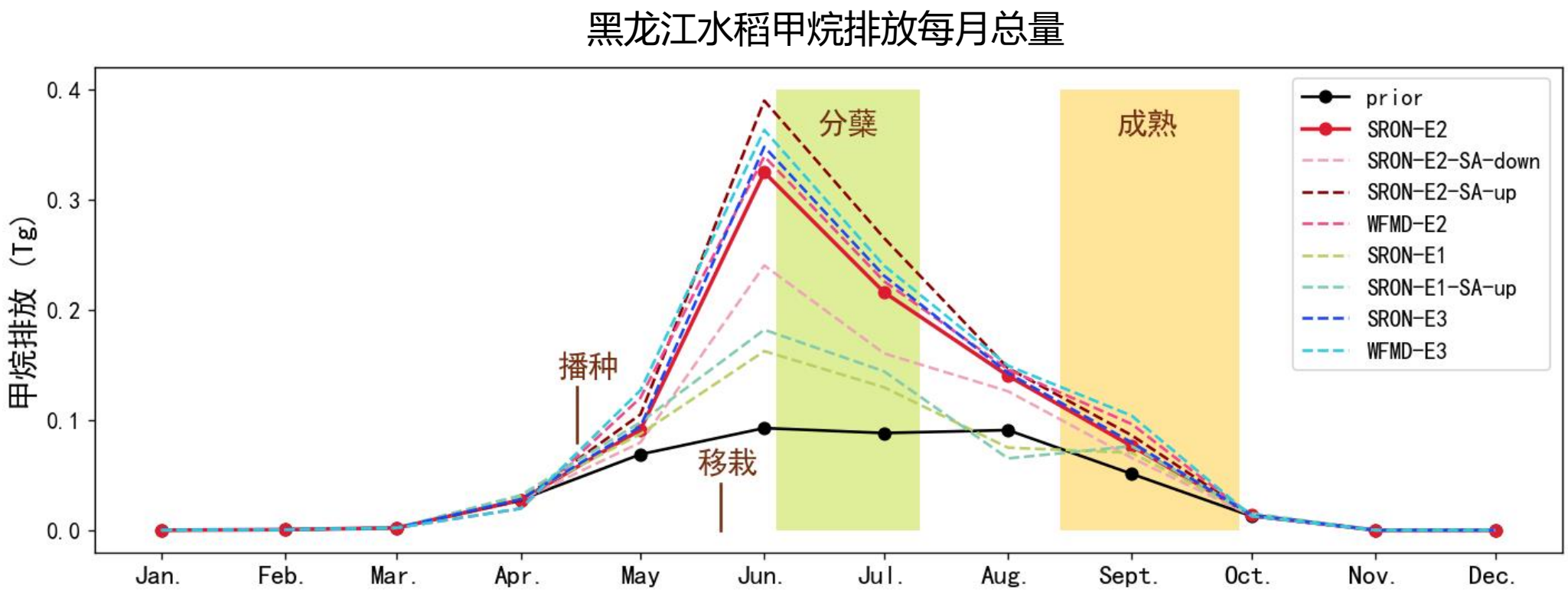
全球水稻甲烷排放的季节性变化模式

- 生长季节的甲烷排放动态在很大程度上取决于管理和环境条件，全球范围四种典型模式：



(Qian et al., Nat. Rev. Earth. Environ., 2023)

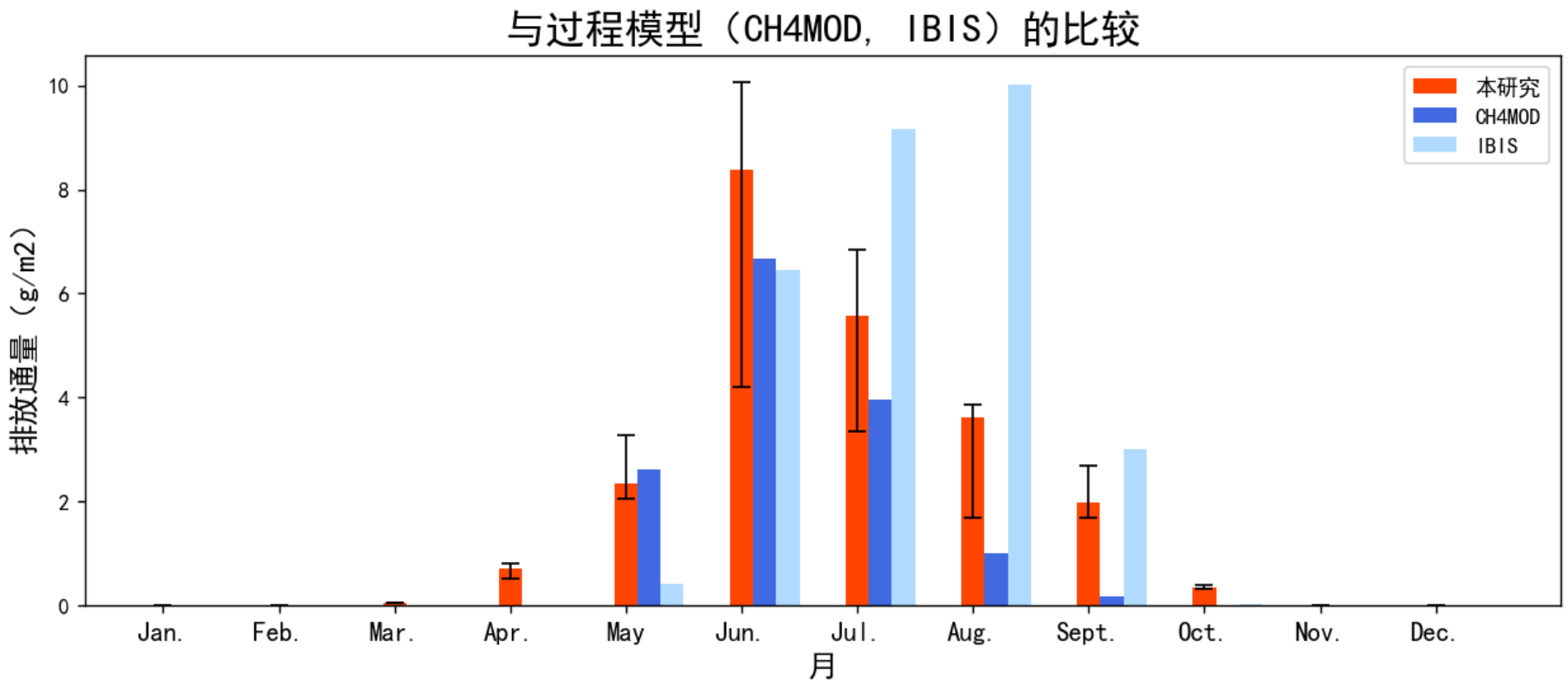
黑龙江水稻甲烷排放的季节变化



- 水稻甲烷排放从4月（水稻播种阶段） 持续到到10月（水稻成熟阶段）；
- 排放峰值峰值出现在6月，与水稻的分蘖期重合（淹水期）；

与“自下而上”过程模型的排放通量比较

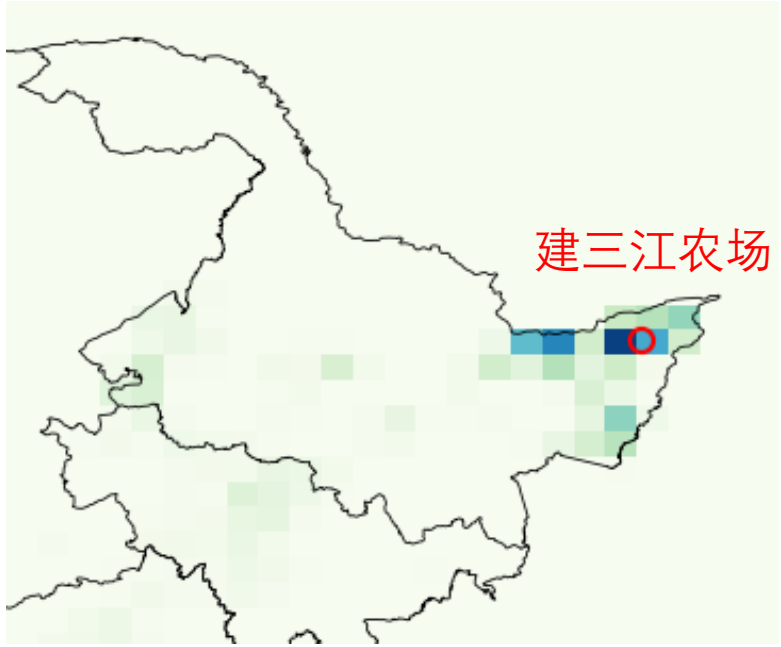
- 过程模型考虑环境因素（温度，土壤PH值等），水和施肥管理，甲烷的产生、氧化和排放过程等；
- IBIS模型对叶面积指数（LAI）更加敏感，对水管理敏感性较弱；
- CH4MOD模型的季节性更依赖于水管理和温度的变化。受低温影响，水稻成熟期甲烷排放减弱。

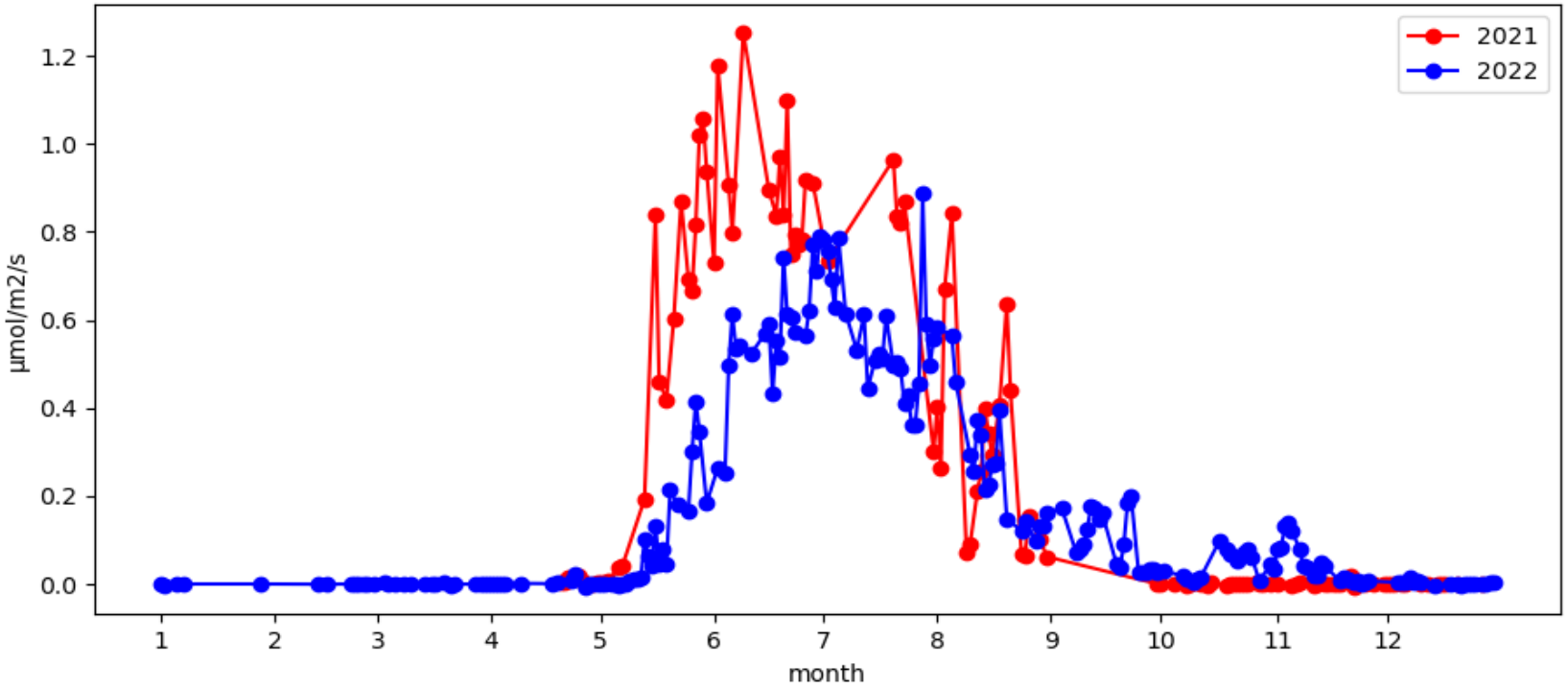


IBIS：袁文平 & 李施华, 中山大学
CH4MOD：李婷婷 & 胡祺雯，中科院大气物理所

站点观测排放通量的季节性

- 站点观测甲烷排放通量呈现单峰，峰值在6-7月





建三江农场观测数据：袁文平 & 李施华，中山大学

总结

- 本研究基于反演方法，利用TROPOMI卫星观测估计了黑龙江水稻甲烷排放；
- 黑龙江水稻甲烷排放的年均值为 0.89 (0.57 – 1.04) Tg a^{-1}。
- 黑龙江省水稻甲烷排放呈现单峰，排放峰值出现在六月，与水稻的分蘖期重合；
- 我们的研究结果对于提升和改进“自下而上”的甲烷排放估计有一定的参考价值。